

Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 3. С. 21-34.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2023. Vol. 106, no 3. P. 21-34.

РАЗВЕДЕНИЕ, СЕЛЕКЦИЯ, ГЕНЕТИКА

Научная статья
УДК 636.082.11
doi:10.33284/2658-3135-106-3-21

Полиморфизм генов *GH*, *MC4R* и *CAPN1* у южных популяций крупного рогатого скота мясных пород и влияние на живую массу

Иван Фёдорович Горлов^{1,7}, Марина Ивановна Сложенкина^{2,8}, Елена Юрьевна Анисимова³, Екатерина Владимировна Карпенко^{4,9}, Кермен Евгеньевна Бадмаева⁵, Виктория Саналовна Убушиева⁶

^{1,2,3,4,5,6}Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия

^{7,8,9}Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

^{1,7}niimmp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>

^{2,8}niimmp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>

³elanis1009@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7508-3897>

^{4,9}ekatkarpenko@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3643-6431>

⁵uni@kalmsu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4065-6720>

⁶vicki_93g@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0320-7771>

Аннотация. Выполнены исследования по изучению генетической структуры популяций крупного рогатого скота трёх пород мясного направления продуктивности, выращиваемых в Волгоградской области и Республике Калмыкия, на основе идентификации полиморфных форм генов *GH*, *MC4R* и *CAPN1* методом ПЦР-ПДРФ. Всего проанализировано 300 образцов ДНК, полученных от животных русской комолой, казахской белоголовой и калмыцкой пород. В статье приводятся оптимальные параметры реакций амплификации и рестрикции, а также электрофоретической детекции рестрикционных фрагментов. На основе полученных данных в популяциях рассчитаны частоты встречаемости аллелей, частоты встречаемости генотипов, описан характер распределения полиморфных вариантов генов. В результате ассоциативного анализа установлена положительная взаимосвязь желательных генотипов с живой массой. Учитывая разнородность генетической архитектуры изученных групп, взаимосвязь полиморфизма генов с продуктивностью животных в базовых предприятиях рекомендовано вести селекционный отбор в направлении повышения гомозиготности по желательным генотипам. Так, по гену соматотропина желательным является генотип *IV*; по гену рецептора меланокортина 4 – *GG*; по гену кальпаина – *CC*. Используя в разведении животных, у которых в результате выполненных исследований были выявлены желательные генотипы, можно улучшить показатели мясной продуктивности потомства.

Ключевые слова: мясной скот, казахская белоголовая, калмыцкая, русская комолая, селекция, SNP, мясная продуктивность

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР за 2022-2024 гг. ГНУ НИИММП (№ 1021051101432-7).

Для цитирования: Полиморфизм генов *GH*, *MC4R* и *CAPN1* у южных популяций крупного рогатого скота мясных пород и влияние на живую массу / И.Ф. Горлов, М.И. Сложенкина, Е.Ю. Анисимова, Е.В. Карпенко, К.Е. Бадмаева, В.С. Убушиева // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 3. С. 21-34. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-3-21>

BREEDING, SELECTION, GENETICS

Original article

Polymorphism of the GH, MC4R and CAPN1 genes in southern beef cattle populations and their impact on live weight

Ivan F Gorlov¹, Marina I Slozhenkina², Elena Yu Anisimova³, Ekaterina V Karpenko⁴, Kermen Ye Badmaeva⁵, Viktoriya S Ubushieva⁶

^{1,2,3,4,5,6}Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russia

^{7,8,9}Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

^{1,7}niimmp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>

^{2,8}niimmp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>

³elans1009@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7508-3897>

^{4,9}ekatkarpenko@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3643-6431>

⁵uni@kalmsu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4065-6720>

⁶vicki_93g@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0320-7771>

Abstract. Studies have been carried out to study the genetic structure of cattle populations of three breeds of beef productivity, grown in Volgograd region and the Republic of Kalmykia, based on the identification of polymorphic forms of the GH, MC4R and CAPN1 genes by the PCR-RFLP method. In total, 300 DNA samples obtained from animals of the Russian polled, Kazakh white-headed and Kalmyk breeds were analyzed. The article presents the optimal parameters of amplification and restriction reactions, as well as electrophoretic detection of restriction fragments. Based on the data obtained in the populations, the frequencies of alleles and genotypes were calculated, and the nature of the distribution of polymorphic variants of genes was described. As a result of associative analysis, a positive relationship between desirable genotypes and live weight was established. Taking into account the heterogeneity of the genetic architecture of the studied groups, the relationship of gene polymorphism with the productivity of animals in basic enterprises, it is recommended to conduct breeding selection in the direction of increasing homozygosity for the desired genotypes. Thus, according to the somatotropin gene, the VV genotype is desirable; for the melanocortin 4 receptor gene - GG; according to the calpain gene - SS. Using in breeding animals in which the desired genotypes were identified as a result of the studies performed, it is possible to improve the meat productivity of the offspring.

Keywords: beef cattle, Kazakh white-headed, Kalmyk, Russian Polled, cattle breeding, SNP, meat productivity

Acknowledgments: the work was completed in accordance to the plan of research works for 2022-2024 NIIMMP (No. 1021051101432-7).

For citation: Gorlov IF, Slozhenkina MI, Anisimova EYu, Karpenko EV, Badmaeva KYe, Ubushieva VS. Polymorphism of the GH, MC4R and CAPN1 genes in southern beef cattle populations and their impact on live weight. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(3):21-34. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-3-21>

Введение.

Как известно, биоразнообразие породных ресурсов в условиях конкретных агроэкологических условий, особенности генетической структуры популяций, взаимосвязь полиморфных вариантов генов, ассоциированных с селекционно ценными признаками, с формированием продуктивных качеств животных – всё это играет определяющую роль в мясном скотоводстве (Колпаков В.И., 2020). Современные молекулярно-генетические методы исследования позволяют идентифицировать желательные генотипы и вести отбор в направлении повышения рентабельности отрасли, совершенствуя племенную работу хозяйств (Седых Т.А. и др., 2022). Наиболее перспективными маркерами продуктивности считаются гены гормона роста (*GH*), кальпаина (*CAPN1*) и рецептора меланокортина-4 (*MC4R*).

Природно-климатические особенности территорий являются важными факторами, обуславливающими формирование адаптационных особенностей, и, в конечном итоге, оказывают определённое влияние на уровень мясной продуктивности животных (Anisimova EY et al., 2023).

В Волгоградской области и Республике Калмыкия в силу своей приспособленности к специфическим климатическим условиям и скудности естественных кормовых угодий перспективными и востребованными являются калмыцкая, казахская белоголовая и русская комолая породы крупного рогатого скота (Горлов И.Ф. и др., 2019).

Однако применительно к поголовью, выращиваемому на указанных территориях, исследования генетической структуры популяций во взаимосвязи с формированием показателей продуктивности проведены до сих пор в недостаточной мере (Каюмов Ф.Г. и др., 2021; Gorlov I et al., 2017).

Цель исследования.

Изучить особенности генетической структуры популяций мясных пород крупного рогатого скота, выращиваемых в условиях Волгоградской области и Республики Калмыкия, по генам *GH*, *MC4R* и *CAPNI*, а также определить взаимосвязь полиморфных вариантов с продуктивностью животных.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. 300 образцов ДНК из крови крупного рогатого скота трёх пород (биоматериал был отобран у бычков в возрасте 16 месяцев), включая две популяции русской комолой породы (1А-50А – животные из стада ООО «Волгодонагро» Светлоярского района Волгоградской области и 1Б-50Б – из стада ООО «Плодовитое» Малодербетовского района Республики Калмыкия); две популяции казахской белоголовой породы (1В-50В – из стада ОАО «Шуруповское» Фроловского района Волгоградской области и 1Г-50Г – из стада СПК племзавод «Красный октябрь» Палласовского района Волгоградской области); две популяции калмыцкой породы (1Д-50Д – из стада ООО «Плодовитое» Малодербетовского района Республики Калмыкия и 1Е-50Е – из стада НАО ПЗ «Кировский» Яшкульского района Республики Калмыкия).

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов (1987 г.; Приказ Минздрава СССР No 755 от 12.08.1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных») и «Guide for the Care and Use of Laboratory Animals» (National Academy Press, Washington, D.C., 1996). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Во всех перечисленных хозяйствах применяется пастбищное содержание, а в зимне-стойловый период – свободно-выгульное. Прослеживание динамики живой массы бычков проводили путём ежемесячного взвешивания каждого животного. Каждое животное фиксировалось, из яремной вены собирали по 5 мл крови в полипропиленовые вакуумные пробирки с антикоагулянтом (K_2EDTA). После отбора биоматериала пробирки плотно закрывали и осторожно переворачивали для перемешивания крови с антикоагулянтом. Образцы крови доставляли в лабораторию в холодильнике, содержащем хладагенты, и хранили в холодильнике при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до выделения ДНК. Выделение ДНК осуществляли с использованием набора «К-Сорб-100» (НПФ «Синтол», Россия) согласно протоколу производителя. Выделенные препараты хранили при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Оборудование и технические средства. Все исследования выполнялись на сертифицированном оборудовании в комплексной аналитической лаборатории ГНУ НИИММП (Волгоград, Россия). ДНК амплифицировали с использованием набора Tersus Plus PCR kit («Евроген», Россия) согласно протоколу производителя на приборе АНК-32 (НПФ «Синтол», Россия).

Последовательность праймеров, используемых для сайта *GH/AluI*:

GH-F: 5'-GCTGCTCCTGAGGGCCCTTC-3';

GH-R: 5'-CATGACCCTCAGGTACTCCG-3'.

Режимы ПЦР: предварительная денатурация 5 мин при +94 °С; далее 32 цикла денатурация 60 с при +94 °С, отжиг 60 с при +60 °С, элонгация 60 с при +72 °С и заключительный синтез 10 мин при +72 °С. Для рестрикционного анализа брали 5U *AluI* («СибЭнзим», Россия, *AG/CT*), гидролиз проводили при +37 °С в течение 12 ч. Идентификацию фрагментов рестрикции проводили методом электрофореза в 2 %-ном агарозном геле с красителем (EtBr) при 120 В в течение 30 мин с использованием набора ООО «ДНК-Технология» (Россия).

Последовательность праймеров, используемых для сайта *MC4R/HpyCH4IV*:

MC4R-F: 5'-GTCGGGCGTCTTGTTTCATC-3';

MC4R-R: 5'-GCTTGTGTTTAGCATCGCGT-3'.

Режимы ПЦР: предварительная денатурация 5 мин при +94 °С; далее 35 циклов денатурация 30 с при +94 °С, отжиг 30 с при +58 °С, элонгация 30 с при +72 °С и заключительный синтез 10 мин при +72 °С. Для рестрикционного анализа брали 5U *HpySE526I* («СибЭнзим», Россия, *A|CGT*), гидролиз проводили при +37 °С в течение 5 ч. Идентификацию фрагментов рестрикции проводили методом электрофореза в 2 %-ном агарозном геле с красителем (EtBr) при 100 В в течение 20 мин с использованием набора ООО «ДНК-Технология».

Визуализировали полученные результаты с помощью ультрафиолетовой камеры.

Полиморфные варианты гена *CAPN1* идентифицировали методом ПЦР-РВ с использованием набора реагентов (НПФ «Синтол», Россия) согласно протоколу производителя. Режимы ПЦР-РВ: предварительная денатурация 2 мин при +95 °С; далее 40 циклов отжиг 40 с при +63 °С, элонгация 20 с при +95 °С.

Статистическая обработка. Частоту генотипов (%) рассчитывали по формуле:

$$P = \frac{n}{N} \cdot 100 \quad (1),$$

где n – число животных с данным генотипом,

N – общее количество исследуемых животных данной популяции.

Частоту аллелей определяли по формулам:

$$C = \frac{(2 \cdot CC + CG)}{2 \cdot N} \quad (2),$$

где C – частота аллеля C ,

CC – число животных с генотипом CC ,

CG – число животных с генотипом CG ,

N – общее количество исследуемых животных данной популяции.

$$G = \frac{(2 \cdot GG + CG)}{2 \cdot N} \quad (3),$$

где G – частота аллеля G ,

GG – число животных с генотипом GG ,

CG – число животных с генотипом CG ,

N – общее количество исследуемых животных данной популяции.

Для расчётов генетических показателей использовались программы «PopGen ver. 1.32» и «Arlequin ver. 3.5.2.2», а также стандартный пакет программ Microsoft «Office 10.0» («Microsoft», США). Достоверность различий между группами определяли методами вариационной статистики с использованием программного комплекса «Statistica 10.0» («StatSoft Inc.», США). Пороговые уровни определяли с использованием критерия Стьюдента при трёх уровнях вероятности (***) – $P \leq 0,001$; ** – $P \leq 0,01$; * – $P \leq 0,05$; ns – недостоверно) и с учётом числа степеней свободы.

Результаты исследования.

Идентификация полиморфных вариантов гена *GH*. Фрагменты рестрикции размером 211 п.н. (негидролизованые) идентифицированы как *IV* гомозиготный генотип; фрагменты рестрикции 211, 159 и 52 п.н. – как *VL* гетерозиготный генотип, а фрагменты рестрикции 159 и 52 п.н. – как *LL* гомозиготный генотип. В популяции А генотип *IV* был выявлен у 4 животных, в популяциях Б и Г – у 3 в каждой, в В – у 2, в Д и Е – у 1 в каждой. В популяции А генотип *LL* был выявлен у 19 животных, в популяции Б – у 17, в В – у 31, в Г – у 25, в Д – у 37, в Е – у 39. В попу-

ляции А генотип VL был выявлен у 27 животных, в популяции Б – у 30, в В – у 17, в Г – у 22, в Д – у 12, в Е – у 10. Во всех популяциях частота аллеля V была ниже, чем аллеля L (табл. 1).

Таблица 1. Частота встречаемости аллелей гена GH в исследуемых популяциях (n=300)
Table 1. Allele frequency of GH gene in the studied populations (n=300)

Группа / Group	n	Частота встречаемости аллелей / Allele frequency	
		V	L
А	50	0,35	0,65
Б	50	0,36	0,64
В	50	0,21	0,79
Г	50	0,28	0,72
Д	50	0,14	0,86
Е	50	0,12	0,88

При этом наиболее низкое значение установлено в популяции калмыцкой породы скота НАО ПЗ «Кировский» Яшкульского района Республики Калмыкия, граничащего только с Астраханской областью. Малодербетовский район Республики Калмыкия, в котором находится ООО «Плодовитое», граничит также и с Волгоградской областью. Между популяциями казахской белоголовой породы более высокий показатель частоты встречаемости аллеля V в популяции СПК племзавода «Красный октябрь» Палласовского района Волгоградской области. Палласовский район граничит с Республикой Казахстан, а Фроловский находится в центральной части региона и приближен к Ростовской области. Значения частоты встречаемости аллеля V в двух популяциях русской комолой породы находились на одном уровне. Светлоярский район Волгоградской области (ООО «Волгодонагро») граничит с Малодербетовским районом Республики Калмыкия (ООО «Плодовитое»). Установленные между популяциями генотипические различия могут быть связаны также с использованием различных племенных ресурсов в селекционной работе предприятий, имеющих различное географическое расположение, в связи с чем животные, завозимые из соседних регионов вносят определённый вклад в структуру генофонда племенного поголовья. Однако необходимо отметить, что выявленные различия незначительны. Между породами наиболее высокая частота встречаемости гомозиготного генотипа VV установлена в популяциях русской комолой породы, самая низкая – в популяциях калмыцкой. Распределение генотипов в популяциях и между породами проиллюстрировано на рисунке 1.

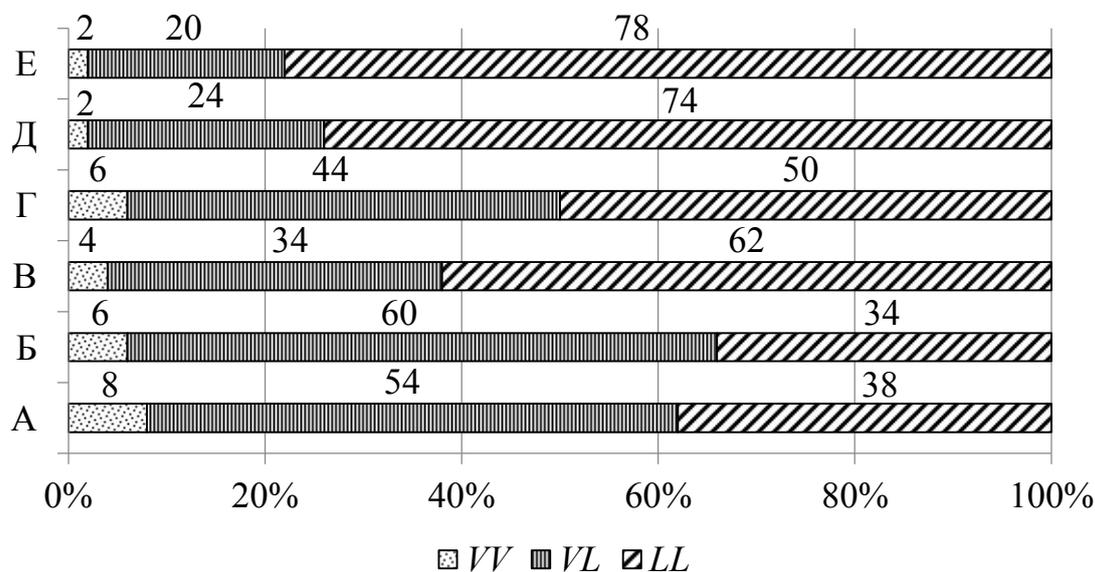


Рис. 1 – Распределение полиморфных вариантов гена соматотропина в исследуемых популяциях крупного рогатого скота, %

Figure 1 – Distribution of different polymorphic variants of Somatotropin gene in the studied populations of beef cattle, %

Наличие или отсутствие желательного генотипа (*VL*) у животных отразилось на их способности набирать массу (табл. 2).

Таблица 2. Живая масса животных в зависимости от генотипа по гену *GH* в исследуемых популяциях (16 мес.), кг

Table 2. Live weight of animals in the studied populations depending on the *GH* genotype (16 months), kg

Группа / Group	n	<i>VV</i>		<i>VL</i>		<i>LL</i>	
		X±Sx	n	X±Sx	n	X±Sx	n
А	50	582,0±12,0***	4	550,3±14,3***	27	477,6±22,6	19
Б	50	566,0±11,0***	3	549,0±13,6***	30	451,6±23,6	17
В	50	577,5±3,5**	2	571,1±2,3*	17	548,5±9,3	31
Г	50	530,0±26,5**	3	468,5±14,9	22	438,4±10,7	25
Д	50	497,0	1	486,8±6,5*	12	442,9±16,2	37
Е	50	490,0	1	460,0±15,1*	10	427,4±6,1	39

Примечание: разность по отношению к генотипу *LL* достоверна при: *** – $P \leq 0,001$; ** – $P < 0,01$; * – $P < 0,05$

Note: the difference is significant in relation to the *LL* genotype at: *** – $P \leq 0.001$; ** – $P \leq 0.01$; * – $P \leq 0.05$

Так, наиболее высокие показатели живой массы в 16 мес. наблюдались у животных с генотипом, гомозиготным по аллелю *V*. В сравнении с генотипом *LL* различия составили 21,9 % ($P \leq 0,001$) и 15,2 % ($P \leq 0,001$) для генотипов *VV* и *VL* соответственно в популяции А, 25,3 % ($P \leq 0,001$) и 21,6 % ($P \leq 0,001$) – в популяции Б русской комолой породы; 5,3 % ($P < 0,01$) и 4,1 % ($P \leq 0,05$) – в популяции В, 20,9 % ($P \leq 0,01$) и 6,9 % (ns) – в популяции Г казахской белоголовой породы; 9,9 % ($P \leq 0,05$) – для генотипа *VL* в популяции Д, 7,6 % ($P \leq 0,05$) – для генотипа *VL* в популяции Е калмыцкой породы.

Идентификация полиморфных вариантов гена *MC4R*. Фрагменты рестрикции размером 493 п.н. (негидролизованые) обозначены как *CC* гомозиготный генотип; фрагменты рестрикции 493, 318 и 173 п.н. – как *CG* гетерозиготный генотип, а фрагменты рестрикции 318 и 173 п.н. – как *GG* гомозиготный генотип. В популяции А генотип *CC* был выявлен у 5 животных, в популяции Б – у 6, в В – у 3, в Г – у 4, в Д – у 15, в Е – у 13. В популяциях А и В генотип *GG* был выявлен у 23 животных в каждой, в популяции Б – у 25, в Г – у 26, в Д – у 10, в Е – у 20. В популяции А генотип *CG* был выявлен у 22 животных, в популяции Б – у 19, в В – у 24, в Г – у 20, в Д – у 25, в Е – у 17 (табл. 3).

Таблица 3. Частота встречаемости аллелей гена *MC4R* в исследуемых популяциях (n=300)
Table 3. Allele frequency of *MC4R* gene in the studied populations (n=300)

Группа / Group	n	Частота встречаемости аллелей / Allele frequency	
		<i>C</i>	<i>G</i>
А	50	0,32	0,68
Б	50	0,31	0,69
В	50	0,30	0,70
Г	50	0,28	0,72
Д	50	0,55	0,45
Е	50	0,43	0,57

Примечательно, что частота встречаемости аллеля *C* в популяции русской комолой породы ООО «Плодовитое» составила 0,31, в то время как в этом же предприятии, но в популяции кал-

мышкой породы – 0,55. Необходимо отметить, что в данном случае частота встречаемости аллеля *C* была выше частоты встречаемости аллеля *G*, тогда как в остальных популяциях аллель *G* преобладал. При этом максимальное различие между частотами аллелей *C* и *G* установлено в популяциях скота казахской белоголовой породы. В связи с этим частота встречаемости гомозиготных по аллелю *C* генотипов у данных групп (В и Г) – самая низкая (6-8 %).

Распределение генотипов в популяциях и между породами проиллюстрировано на рисунке 2.

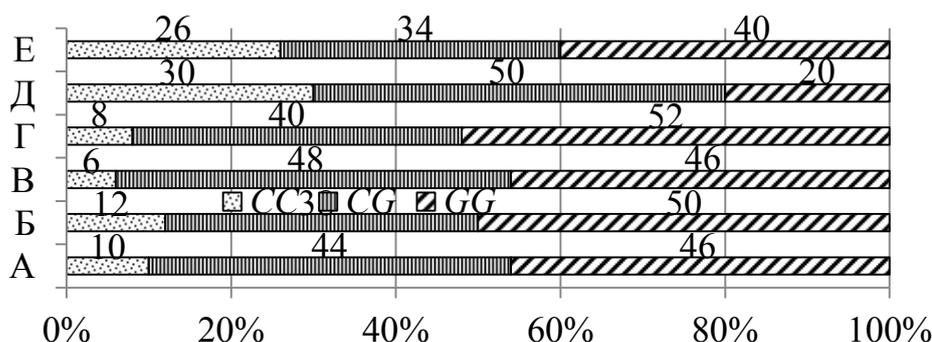


Рис. 2 – Распределение полиморфных вариантов гена рецептора меланокортина-4 в исследуемых популяциях крупного рогатого скота, %
Figure 2 – Distribution of different polymorphic variants of Melanocortin 4 receptor gene in the studied populations, %

В результате исследований установлена достоверная взаимосвязь желательных гомозиготных по аллелю *G* генотипов с живой массой животных (табл. 4).

Таблица 4. Живая масса животных в зависимости от генотипа по гену MC4R в исследуемых популяциях (16 мес.), кг

Table 4. Live weight of animals in the studied populations depending on the MC4R genotype (16 months), kg

Группа / Group	n	CC		CG		GG	
		X±Sx	n	X±Sx	n	X±Sx	n
А	50	453,8±13,4	5	503,1±27,5	22	561,9±13,7***	23
Б	50	428,8±15,2	6	483,2±26,4	19	536,8±14,6***	25
В	50	531,3±7,8	3	548,5±6,1	24	570,0±4,9***	23
Г	50	422,5±5,0	4	441,0±8,5	20	474,9±25,9	26
Д	50	427,3±6,2	15	456,4±13,6	25	490,3±5,0***	10
Е	50	429,8±6,9	13	449,2±5,8*	17	474,1±9,0***	20

Примечание: разность по отношению к генотипу *CC* достоверна при: *** – $P \leq 0,001$; ** – $P \leq 0,01$; * – $P \leq 0,05$

Note: the difference in relation to the *CC* genotype is significant at: *** – $P \leq 0.001$; ** – $P \leq 0.01$; * – $P \leq 0.05$

Так, во всех изучаемых группах животные с генотипом *GG* имели более высокое значение данного показателя в сравнении с генотипом, гомозиготным по аллелю *C*: на 23,8 % ($P \leq 0,001$) – у популяции А и 25,2 % ($P \leq 0,001$) – у популяции Б русской комолой породы; на 7,3 % ($P \leq 0,001$) – у популяции В казахской белоголовой (при этом в популяции Г различия оказались статистически незначимыми); на 14,7 % ($P \leq 0,001$) и 10,3 % ($P \leq 0,001$) – у популяций Д и Е калмыцкой породы соответственно. При этом только в одной популяции из шести групп установлена достоверная разница по живой массе между гетерозиготным генотипом и генотипом *CC*: в популяции калмыцкой породы НАО ПЗ «Кировский» Республики Калмыкия – на 4,5 % ($P \leq 0,05$).

Идентификация полиморфных вариантов гена *CAPI1*. В популяции А генотип *CC* был выявлен у 13 животных, в популяции Б – у 12, в В – у 6, в Г – у 5, в Д – у 11, в Е – у 9. В популяции А генотип *GG* был выявлен у 19 животных, в популяции Б – у 18, в В – у 35, в Г – у 37, в Д – у 32, в Е – у 25. В популяции А генотип *CG* был выявлен у 18 животных, в популяции Б – у 20, в В – у 9, в Г – у 8, в Д – у 7, в Е – у 16. Характер распределения аллелей *C* и *G* между группами неоднородный. Минимальное значение встречаемости аллеля *C* установлено в популяции казахской белоголовой породы СПК племзавода «Красный октябрь» Палласовского района Волгоградской области.

Максимальное – в обеих популяциях русской комолой породы. Однако, учитывая, что желательным генотипом является не только *CC*, но и *GG* генотип, интересно отметить, что именно СПК племзавод «Красный октябрь» Палласовского района Волгоградской области оказался лидером по частоте встречаемости гомозиготного генотипа *GG*, имея один из двух самых низких показателей встречаемости нежелательного гетерозиготного генотипа. При этом необходимо учитывать, что если отбирать 2 гомозиготных генотипа, то при подборе родителей будем получать нежелательных потомков, и поэтому формировать родительские пары с учётом данного факта. Напротив, в русской комолой породе аллель *C*, несмотря на высокий показатель встречаемости, находился в значительной степени в нежелательной гетерозиготной форме (табл. 5).

Таблица 5. Частота встречаемости аллелей гена *CAPN1* в исследуемых популяциях (n=300)
Table 5. Allele frequency of *CAPN1* gene in the studied populations (n=300)

Группа / Group	n	Частота встречаемости аллелей / Allele frequency	
		<i>C</i>	<i>G</i>
А	50	0,44	0,56
Б	50	0,44	0,56
В	50	0,21	0,79
Г	50	0,18	0,82
Д	50	0,29	0,71
Е	50	0,34	0,66

Графически распределение генотипов между группами показано на рисунке 3.

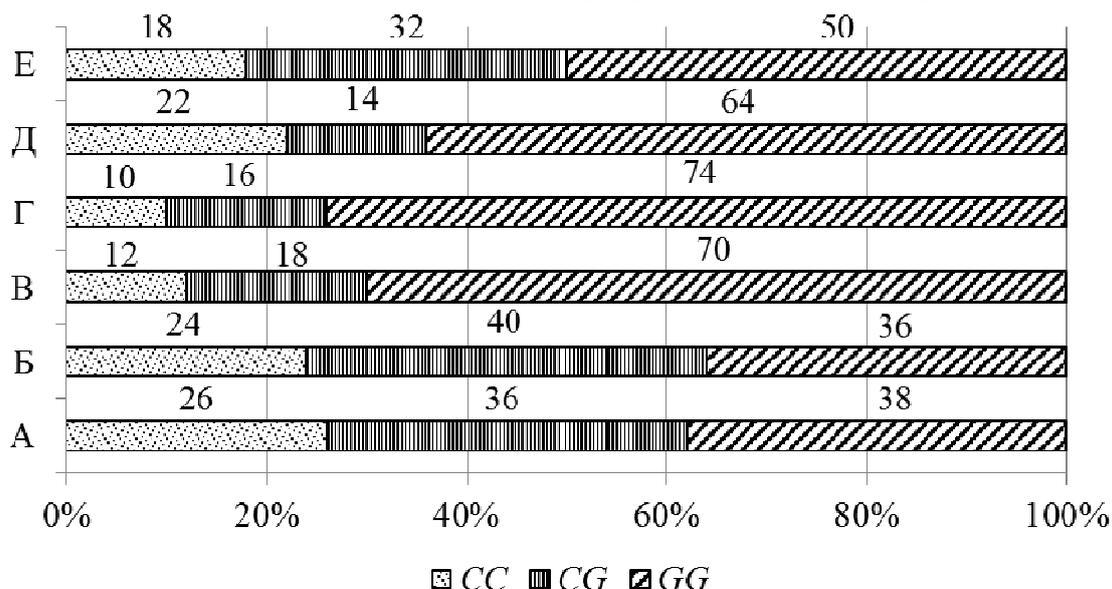


Рис. 3 – Распределение полиморфных вариантов гена кальпаина в исследуемых популяциях крупного рогатого скота, %
Figure 3 – Distribution of different polymorphic variants of Calpain gene in the studied populations of beef cattle, %

В результате ассоциативного анализа установлена положительная взаимосвязь гомозиготных генотипов с живой массой (табл. 6).

Так, в сравнении с гетерозиготной формой гомозиготные генотипы *GG* и *CC* обусловили различия в живой массе между группами соответственно на 13,9 % ($P \leq 0,01$) и 20,2 % ($P \leq 0,001$) в популяции А, на 13,6 % ($P \leq 0,05$) и 19,3 % ($P \leq 0,01$) – в популяции Б русской комолой породы; на 3,6 % (ns) и 6,8 % ($P \leq 0,001$) – в популяции В, на 6,9 % (ns) и 21,5 % ($P \leq 0,001$) – в популяции Г казахской белоголовой породы; на 6,6 % (ns) и 16,0 % ($P \leq 0,001$) – в популяции Д, на 6,1 % ($P < 0,05$) и 11,6 % ($P \leq 0,001$) – в популяции Е калмыцкой породы.

Таблица 6. Живая масса животных в зависимости от генотипа по гену *CAPNI* в исследуемых популяциях (16 мес.), кг
 Table 6. Live weight of animals in the studied populations depending on the *CAPNI* genotype (16 months), kg

Группа / Group	n	CC		CG		GG	
		X±Sx	n	X±Sx	n	X±Sx	n
А	50	571,3±9,9***	13	475,1±20,2	18	541,2±10,6**	19
Б	50	548,4±12,2**	12	459,6±29,1	20	522,3±8,1*	18
В	50	575,8±2,04***	6	539,3±7,4	9	558,9±10,3	35
Г	50	518,0±24,9***	5	426,3±5,2	8	455,6±14,4	37
Д	50	489,3±5,8***	11	421,9±3,3	7	449,7±15,3	32
Е	50	482,2±6,5***	9	431,9±7,8	16	458,2±9,4*	25

Примечание: разность по отношению к генотипу *CG* достоверна при: *** – P≤0,001; ** – P≤0,01; * – P≤0,05

Note: the difference in relation to the *CG* genotype is significant at: *** – P≤0.001; ** – P≤0.01; * – P≤0.05

Обсуждение полученных результатов.

Сравнивая полученные результаты с данными, освещёнными в доступных источниках, отметим следующее. Исследования, проведённые, например, в племенных хозяйствах Ставропольского края (Суржикова Е.С. и др., 2023), показали, что по гену *GH* частота встречаемости аллеля *V* у поголовья скота казахской белоголовой и калмыцкой составляет 0,39 и 0,24, а желательного генотипа *VV* – 32 и 2 % соответственно. В Ростовской области на поголовье мясного скота герефордской породы получены следующие результаты по гену *GH*: частота встречаемости аллелей *V* и *L* – 0,36 и 0,64, генотипов *VV*, *VL* и *LL* – соответственно 17, 39 и 44 %. В то же время у волгоградских и калмыцких популяций данные показатели составили соответственно 0,12-0,28 для аллеля *V* и 2-6 % для генотипа *VV*, а у поголовья животных русской комолой породы – соответственно 0,35-0,36 (аллель *V*) и 6-8 % (генотип *VV*) (Федоров В.Х. и др., 2023).

В результате выполненных исследований (Gorlov I et al., 2017) было установлено, что частота встречаемости желательного генотипа *GH/VV* в популяции скота калмыцкой породы находится на уровне 1,7 %. Полученный спустя 6 лет в представленной работе показатель (2,0 %) свидетельствует о необходимости генетического мониторинга, позволяющего выявить желательные генотипы, перспективных животных на раннем этапе развития и усовершенствовать селекционно-племенную работу хозяйств.

Распределение аллеля *C* по гену *CAPNI* в популяциях казахской белоголовой и калмыцкой пород сравнительно равномерное (0,13 и 0,16), а доля *CC* генотипа находится на уровне 5 и 6 % (Суржикова Е.С. и др., 2023). В популяциях Волгоградской области и Республики Калмыкия нами выявлен иной характер распределения: соответственно 0,18-0,34 – для аллеля *C* и 10-22 % – для генотипа *CC*. Наиболее высокими показателями отличались животные русской комолой породы.

Таким образом, доля животных с желательным генотипом по гену соматотропина выше в Ставропольском крае и Ростовской области, а по гену *CAPNI* – в популяциях Волгоградской области и Республике Калмыкия.

В исследованиях Селионовой М.И. и Плахтюковой В.Р. (2020) установлена положительная взаимосвязь между гомозиготными генотипами по гену *GH* (*VV*) и гену *CAPNI* (*CC*) с формированием продуктивных показателей у животных и качеством говядины. Представленные в работе результаты (Ставропольский край) согласуются с полученными нами.

Геномная селекция с использованием маркеров (GWAS, MAS) могла бы стать подходящим вариантом для достижения генетического прогресса в улучшении качества мяса (Шевхужев А.Ф. и др., 2022; Trujano-Chavez MZ et al., 2021).

Dakhlan A с соавторами (2022) установили положительную связь между наличием гомозиготного генотипа *VV* по гену *GH*, скоростью роста и экстерьерными характеристиками крупного рогатого скота породы Kru'i (Индонезия).

В результате исследований, выполненных Liu GY с коллегами (2020), установлено, что полиморфизмы гена *MC4R* крупного рогатого скота могут быть перспективными в качестве генетических маркеров, потенциально важных в стратегиях селекции с использованием маркеров (MAS) для улучшения качества туши китайского крупного рогатого скота Циньчуань.

Известно, что аллельные варианты однонуклеотидных полиморфизмов гена *CAPNI* крупного рогатого скота ассоциированы с «мраморностью» и «нежностью» мяса (Романишко Е.Л. и др., 2022).

В результате выполненных нами исследований подтверждено положительное влияние гомозиготного генотипа *VV* по гену *GH*, *GG* – по гену *MC4R*, *CC* – по гену *CAPNI* на формирование живой массы у животных.

Таким образом, полученные нами результаты согласуются с исследованиями других учёных и подтверждают перспективность использования в селекционно-племенной работе данных генов как маркеров продуктивности при разведении крупного рогатого скота на юге России.

Заключение.

Учитывая разнородность генетической архитектуры изученных групп, взаимосвязь полиморфизма генов *GH*, *MC4R* и *CAPNI* со способностью животных наращивать живую массу рекомендовано вести селекционный отбор в направлении повышения гомозиготности по желательным генотипам у разводимого поголовья. Так, по гену соматотропина желательным является генотип *VV*; по гену рецептора меланокортина 4 – *GG*; по гену кальпаина – *CC*. Используя в разведении животных, у которых в результате выполненных исследований были выявлены желательные генотипы, можно улучшить показатели мясной продуктивности потомства.

Список источников

1. ДНК-генотипирование по генам *CAPNI*, *GH*, *LEP* ремонтного молодняка крупного рогатого скота мясного направления продуктивности / Е.С. Суржилова, Д.Д. Евлагина, Т.Н. Михайленко, О.Н. Онищенко // Сельскохозяйственный журнал. 2023. № 2(16). С. 108-116. [Surzhikova ES et al. DNA genotyping by *CAPNI*, *GH*, *LEP* genes of herd replacements of beef cattle. Agricultural Journal. 2023;2(16):108-116. (In Russ.)]. doi: 10.48612/FARC/2687-1254/011.2.16.2023
2. Исследование полиморфизма RS17872000 в генах кальпаина (*CAPNI*) и RS109221039 кальпастатина (*CAST*) у крупного рогатого скота мясного направления продуктивности / Е.Л. Романишко, А.И. Киреева, М.Е. Михайлова, Р.И. Шейко // Молекулярная и прикладная генетика. 2022. Т. 32. С. 88-96. [Romanishko EL et al. Study of RS17872000 polymorphism in calpain (*CAPNI*) and RS109221039 calpastatin (*CAST*) genes in meat productivity cattle. Molecular and Applied Genetics. 2022;32:88-96. (In Russ.)]. doi: 10.47612/1999-9127-2022-32-88-96
3. Исследования полиморфизма гена *GH*, влияющего на хозяйственно-полезные признаки крупного рогатого скота породы герефорд / В.Х. Федоров, Н.В. Широкова, Д.А. Стасенко, А.И. Белисов, А.В. Федоров // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2023. № 1(72). С. 78-81. [Fedorov VKh et al. Studies of *GH* gene polymorphism affecting economic useful features of the Hereford. The Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2023;1(72):78-81. (In Russ.)].
4. Каюмов Ф.Г., Третьякова Р.Ф., Третьякова Н.А. Полиморфизм генов *CAPNI*, *GH*, *TG5* и *LEP* у молодняка нового мясного типа “Адучи” // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 5 (91). С. 206-210. [Kayumov FG et al. Polymorphism of *CAPNI*, *GH*, *TG5* and *LEP* genes in young steers of a new meat type “Aduchi”. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2021;5(91):206-210. (In Russ.)]. doi: 10.37670/2073-0853-2021-91-5-206-210

5. Колпаков В.И. Влияние некоторых полиморфных генов на мясную продуктивность и качество мяса у крупного рогатого скота (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 4. С. 47-64. [Kolpakov VI. Influence of some polymorphic genes on meat productivity and meat quality of cattle (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2020;103(4):47-64. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-103-4-47
6. Полиморфизм гена кальпаина 1 *CAPNI 530* в связи с мясной продуктивностью крупного рогатого скота герефордской и лимузинской пород / Т.А. Седых, А.К. Преснякова, И.Ю. Павлова, Ф.Р. Валитов, Л.А. Калашникова // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 11. С. 62-68. [Sedykh TA et al. Polymorphism of calpain 1 *CAPNI 530* gene in connection with meat productivity of cattle of Hereford and Limousin breeds. Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2022;36(11):62-68. (In Russ.)]. doi: 10.53859/02352451_2022_36_11_62
7. Полиморфизм генов, ассоциированных с качеством мяса у крупного рогатого скота (обзор) / А.Ф. Шевхужев, А.Ю. Криворучко, В.А. Погодаев, Л.Н. Скорых, Н.С. Сафонова // Сельскохозяйственный журнал. 2022. № 4(15). С. 128-135. [Shevkhuzhev AF et al. Polymorphism of genes associated with meat quality in cattle (review). Agricultural Journal. 2022;4(15):128-135. (In Russ.)]. doi: 10.25930/2687-1254/014.4.15.2022
8. Селионова М.И., Плахтыкова В.Р. Мясная продуктивность бычков казахской белоголовой породы разных генотипов по генам *CAPNI* и *GH* // Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 4. С. 9-12. [Selionova MI and Plakhtyukova VR. Meat productivity of Kazakh Whiteheaded steers of different genotypes by genes *CAPNI* and *GH*. Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding. 2020; 4:9-12. (In Russ.)]. doi: 10.33943/MMS.2020.96.35.003
9. Сравнительная характеристика мясной продуктивности бычков разных пород / И.Ф. Горлов, А.В. Ранделин, М.И. Сложенкина, А.А. Мосолов, Д.А. Ранделин, М.Е. Спивак, О.П. Шахбазова, Р.Г. Раджабов, Н.В. Иванова, Д.А. Мосолова // Молочное и мясное скотоводство. 2019. № 2. С. 18-22. [Gorlov IF et al. Comparative assessment of meat productivity of bulls of different breeds. Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding. 2019;2:18-22. (In Russ.)].
10. Anisimova EY, Gorlov IF, Mosolova NI, Danilov YD, Karpenko EV, Knyazhechenko OA. The state and prospects of the development of animal husbandry in the South of Russia based on the modern molecular genetic technologies. AIP Conference Proceedings. Proceedings of the IV International Scientific Conference on Advanced Technologies in Aerospace, Mechanical and Automation Engineering: (MIST: Aerospace-IV 2021); 2023;2700(1):050048. doi: 10.1063/5.0124964
11. Dakhlan A, Adhianto K, Sulastri, Kurniawati D, Ermawati R, Doni Saputra T. Mapping growth hormone gene of body weight Krui cattle in Pesisir Barat Regency Lampung, Indonesia. Pakistan Journal of Biological Sciences. 2022;25(8):741-747. doi: 10.3923/pjbs.2022.741.747
12. Gorlov I, Slozhenkina M, Sulimova G, Perchun A. Genetic polymorphism of the *RORC*, *BGH*, *BGHR*, *LEP*, *LEPR* genes in Russian Hornless cattle breed. Proceedings: Engineering for Rural Development. Latvia University of Agriculture, 2017;16:201-206. doi: 10.22616/ERDev2017.16.N038
13. Liu GY, Raza SHA, Zhou L, El-Aziz AHA, Sabek A, Shoorei H, Amjadi M, Gui LS. The genetic polymorphisms of melanocortin-4 receptor gene are associated with carcass quality traits in a Chinese indigenous beef cattle breed. Research in Veterinary Science. 2020;132:202-206. doi: 10.1016/j.rvsc.2020.06.011
14. Trujano-Chavez MZ, Valerio-Hernández JE, López-Ordaz R, Pérez-Rodríguez P, Ruíz-Flores A. Allelic and genotypic frequencies for loci associated with meat quality in Mexican Braunvieh cattle. Tropical Animal Health and Production. 2021;53(2):307. doi: 10.1007/s11250-021-02757-5
15. Utomo B, Rimayanti R, Triana IN, Fadholly A. Melanocortin-4 receptor and leptin as genes for the selection of superior Madrasin cattle. Veterinary World. 2021;14(12):3224-3228. doi: 10.14202/vetworld.2021.3224-3228

References

1. Surzhikova ES et al. DNA genotyping by *CAPNI*, *GH*, *LEP* genes of herd replacements of beef cattle. *Agricultural Journal*. 2023;2(16):108-116. doi: 10.48612/FARC/2687-1254/011.2.16.2023
2. Romanishko EL et al. Study of RS17872000 polymorphism in calpain (*CAPNI*) and RS109221039 calpastatin (*CAST*) genes in meat productivity cattle. *Molecular and Applied Genetics*. 2022;32:88-96. doi: 10.47612/1999-9127-2022-32-88-96
3. Fedorov VKh et al. Studies of *GH* gene polymorphism affecting economic useful features of the Hereford. *The Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2023;1(72):78-81.
4. Kayumov FG et al. Polymorphism of *CAPNI*, *GH*, *TG5* and *LEP* genes in young steers of a new meat type "Aduchi". *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*. 2021;5(91):206-210. doi: 10.37670/2073-0853-2021-91-5-206-210
5. Kolpakov VI. Influence of some polymorphic genes on meat productivity and meat quality of cattle (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020;103(4):47-64. doi: 10.33284/2658-3135-103-4-47
6. Sedykh TA et al. Polymorphism of calpain 1 *CAPNI 530* gene in connection with meat productivity of cattle of Hereford and Limousin breeds. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2022;36(11):62-68. (*In Russ.*). doi: 10.53859/02352451_2022_36_11_62
7. Shevkhezhev AF et al. Polymorphism of genes associated with meat quality in cattle (review). *Agricultural Journal*. 2022;4(15):128-135. (*In Russ.*). doi: 10.25930/2687-1254/014.4.15.2022
8. Selionova MI, Plakhtyukova VR. Meat productivity of Kazakh Whiteheaded steers of different genotypes by genes *CAPNI* and *GH*. *Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2020;4:9-12. doi: 10.33943/MMS.2020.96.35.003
9. Gorlov IF et al. Comparative assessment of meat productivity of bulls of different breeds. *Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2019;2:18-22.
10. Anisimova EY, Gorlov IF, Mosolova NI, Danilov YD, Karpenko EV, Knyazhechenko OA. The state and prospects of the development of animal husbandry in the South of Russia based on the modern molecular genetic technologies. *AIP Conference Proceedings. Proceedings of the IV International Scientific Conference on Advanced Technologies in Aerospace, Mechanical and Automation Engineering: (MIST: Aerospace-IV 2021)*; 2023;2700(1):050048. doi: 10.1063/5.0124964
11. Dakhlan A, Adhianto K, Sulastri, Kurniawati D, Ermawati R, Doni Saputra T. Mapping growth hormone gene of body weight Krui cattle in Pesisir Barat Regency Lampung, Indonesia. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 2022;25(8):741-747. doi: 10.3923/pjbs.2022.741.747
12. Gorlov I, Slozhenkina M, Sulimova G, Perchun A. Genetic polymorphism of the *RORC*, *BGH*, *BGHR*, *LEP*, *LEPR* genes in Russian Hornless cattle breed. *Proceedings: Engineering for Rural Development. Latvia University of Agriculture*, 2017;16:201-206. doi: 10.22616/ERDev2017.16.N038
13. Liu GY, Raza SHA, Zhou L, El-Aziz AHA, Sabek A, Shoorei H, Amjadi M, Gui LS. The genetic polymorphisms of melanocortin-4 receptor gene are associated with carcass quality traits in a Chinese indigenous beef cattle breed. *Research in Veterinary Science*. 2020;132:202-206. doi: 10.1016/j.rvsc.2020.06.011
14. Trujano-Chavez MZ, Valerio-Hernández JE, López-Ordaz R, Pérez-Rodríguez P, Ruíz-Flores A. Allelic and genotypic frequencies for loci associated with meat quality in Mexican Braunvieh cattle. *Tropical Animal Health and Production*. 2021;53(2):307. doi: 10.1007/s11250-021-02757-5
15. Utomo B, Rimayanti R, Triana IN, Fadholly A. Melanocortin-4 receptor and leptin as genes for the selection of superior Madrasin cattle. *Veterinary World*. 2021;14(12):3224-3228. doi: 10.14202/vetworld.2021.3224-3228

Информация об авторах:

Иван Фёдорович Горлов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, научный руководитель, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, 400066, Россия, Волгоградская обл., г. Волгоград, ул. имени Маршала Рокоссовского, 6; заведующий кафедрой «Технология пищевых производств», Волгоградский государственный технический университет, 400005, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. имени В.И. Ленина, 28, тел.: 8 (844)239-10-48.

Марина Ивановна Сложенкина, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, 400066, Россия, Волгоградская обл., г. Волгоград, ул. Маршала Рокоссовского, 6; профессор кафедры «Технология пищевых производств», Волгоградский государственный технический университет, 400005, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. имени В.И. Ленина, 28, тел.: 8 (844) 239-10-48.

Елена Юрьевна Анисимова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, 400066, Волгоградская обл., г. Волгоград, ул. Маршала Рокоссовского, 6, тел.: 8(844) 239-10-48.

Екатерина Владимировна Карпенко, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, 400066, Россия, Волгоградская обл., г. Волгоград, ул. Маршала Рокоссовского, 6; доцент кафедры «Технология пищевых производств», Волгоградский государственный технический университет, 400005, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. имени В.И. Ленина, 28, тел.: 8 (844) 239-10-48.

Кермен Евгеньевна Бадмаева, кандидат биологических наук, соискатель, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, 400066, Волгоградская обл., г. Волгоград, ул. Маршала Рокоссовского, 6, тел.: 8 (844) 239-10-48.

Виктория Саналовна Убушиева, соискатель, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, 400066, Волгоградская обл., г. Волгоград, ул. Маршала Рокоссовского, 6, тел.: 8 (844) 239-10-48.

Information about the authors:

Ivan F Gorlov, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Academician of Russian Academy of Sciences, Scientific Director, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd region, Volgograd, street named after Marshal Rokossovsky 6, 400066, Russia; Head of the Department of Food Production Technology, Volgograd State Technical University, Volgograd region, Volgograd, avenue named after V.I. Lenin, 28, 400005, Russia, tel.: 8(844)239-10-48.

Marina I Slozhenkina, Dr. Sci. (Biology), Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Director, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd region, Volgograd, street named after Marshal Rokossovsky 6, 400066, Russia; Professor of the Department of Food Production Technology, Volgograd State Technical University, Volgograd region, Volgograd, avenue named after V.I. Lenin, 28, 400005, Russia, tel.: 8 (844) 239-10-48.

Elena Yu Anisimova, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd region, Volgograd, street named after Marshal Rokossovsky 6, 400066, Russia, tel.: 8 (844) 239-10-48.

Ekaterina V Karpenko, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd region, Volgograd, street named after Marshal Rokossovsky 6, 400066, Russia; Associate Professor of the Department of Food Production Technology, Volgograd State Technical University, Volgograd region, Volgograd, avenue named after V.I. Lenin, 28, 400005, Russia, tel.: 8(844)239-10-48.

Kermen Ye Badmaeva, Cand. Sci. (Biology), Applicant of Academic Degree, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd region, Volgograd, street named after Marshal Rokossovsky 6, 400066, Russia, tel.: 8 (844) 239-10-48.

Viktoriya S Ubushieva, Applicant of Academic Degree, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd region, Volgograd, street named after Marshal Rokossovsky 6, 400066, Russia, tel.: 8 (844) 239-10-48.

Статья поступила в редакцию 26.07.2023; одобрена после рецензирования 07.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was submitted 26.07.2023; approved after reviewing 07.08.2022; accepted for publication 11.09.2023.